发酵豆粕中大分子蛋白质和肽含量对仔猪小肠绒毛结构的影响

张露露　王昕陟*
（沈阳农业大学畜牧兽医学院，沈阳 110866）

摘　要：本试验旨在研究豆粕中大分子蛋白质和肽含量对仔猪小肠绒毛结构的影响。采用凝胶过滤色谱技术分析豆粕中大分子蛋白质和肽含量。选取 40 头断奶仔猪，随机分成 4 个处理：去皮豆粕处理、发酵豆粕 C 处理、发酵豆粕 E 处理和动物蛋白处理。试验期 5 周。结果表明：去皮豆粕中大分子蛋白质含量约占 80%，发酵豆粕中约占 50%，甚至降至 24%；发酵豆粕中肽含量约占 19%，去皮豆粕中仅有 2.7%。与去皮豆粕处理相比，发酵豆粕 C 处理十二指肠绒毛高度显著提高（$P<0.05$），发酵豆粕 E、发酵豆粕 C 处理十二指肠、空肠隐窝深度显著下降（$P<0.05$），发酵豆粕 E、发酵豆粕 C 处理十二指肠和空肠的绒毛高度/隐窝深度均显著升高（$P<0.05$）。由此可见，豆粕中大分子蛋白含量与小肠绒毛高度和隐窝深度的比值呈负相关；发酵豆粕能够在断奶仔猪饲料中使用，并且有效改善断奶仔猪小肠绒毛结构。

关键词：发酵豆粕；凝胶过滤色谱；小肠绒毛结构
中图分类号：S828

近年来，养殖业发展迅速，对饲料原料，尤其是蛋白质原料的需求量日益增加。但动物性蛋白质原料资源匮乏、价格昂贵且安全系数低，迫使人们将目光锁定植物性蛋白质原料，发酵豆粕就是其中之一。研究表明，豆粕经发酵后，抗营养因子含量下降，部分大分子蛋白质降解为肽和氨基酸[1]，缓解了对断奶仔猪小肠绒毛结构的影响[2]，部分大分子蛋白质甚至降解为更易吸收的小肽[3]。大分子蛋白质和肽含量的不同是去皮豆粕与发酵豆粕的主要区别之一。本试验选取 2 种发酵豆粕，以去皮豆粕和动物性蛋白质为对照，主要通过凝胶过滤色谱（gel filtration chromatography,GFC）技术分析豆粕中大分子蛋白质和肽含量，探讨其对小肠绒毛高度、隐窝深度以及绒毛高度/隐窝深度（V/C）的影响，旨在为发酵豆粕在饲料中的广泛应用提供数据基础和科学依据。

1　材料与方法

1.1　GFC 技术分析豆粕中蛋白质含量

原料：去皮豆粕、发酵豆粕 C、发酵豆粕 E 等豆粕产品（收集自沈阳波音饲料有限公司）。

主要仪器和设备：Agilent 1260 高效液相色谱仪；FD-1100 型冷冻干燥仪。

收稿日期：2016-01-17
基金项目：沈阳市预混合饲料生产工艺研究中心建设项目（F13-253-8-00）

作者简介：张露露（1987—），女，辽宁庄河人，硕士研究生，研究方向为单胃动物营养。
E-mail： lulu23422@163.com
*通信作者：王昕陟，副教授，硕士生导师，E-mail： xinzwang@163.com

主要试剂：牛血清白蛋白、细胞色素 c 等标准品（购自北京普天同创生物科技有限公司）。

1.1.1　GFC 操作方法

按表 1 色谱条件进行分析。记录标准品保留时间（t），制作标准曲线。结合样品峰面积（S）和标准曲线方程，计算豆粕样品中肽含量分布。

表 1　色谱条件

Table 1　The chromatographic conditions

项目 Items	内容 Content
色谱柱 The chromatographic column	TSK G2000 SW_{xl}
流动相 Mobile phase	乙腈:水:三氟乙酸=10:90:0.1
流速 The velocity/(mL/min)	1.0
检测波长 Detection wavelength/nm	212
进样量 Sample quantity/μL	20
柱温 Column temperature/℃	20

1.1.2　标准品分析结果

表 2　标准品名称及保留时间

Table 2　Standard name and retention time

标准品名称及其分子量 Standard name and its molecular weight/u	保留时间 Retention time/min
牛血清白蛋白 Bovine serum albumin/W66446	5.124
细胞色素 c Cytochrome c/W12355	5.729
胰蛋白酶抑制剂 Trypsin inhibitor/W6510	6.992
乙氨酰-乙氨酰-酪氨酰-精氨酰 Acetyl glycyl-acetyl glycyl-tyrosyl-arginyl/W451.2	8.885
乙氨酰-乙氨酰-乙氨酰 Acetyl glycyl-acetyl glycyl-acetyl glycyl/W189.1	9.945

1.1.3　样品蛋白质和肽含量分布结果

保留时间约 10 min 时，3 种豆粕都有较大吸收峰（图 1、图 2、图 3）。由表 3 可知，去皮豆粕中分子量约 37 ku 的蛋白质约占 80%，发酵豆粕中仅占 50%，甚至降至 24%；而发酵豆粕中肽含量高达 19%，去皮豆粕中仅有 2.7%。

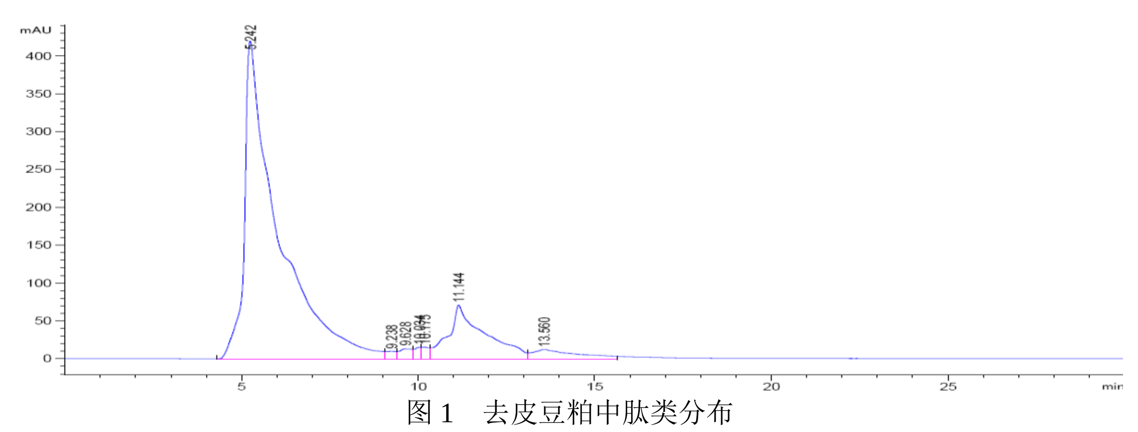


图 1　去皮豆粕中肽类分布

Fig.1　Distribution of peptide in dehulled soybean meal

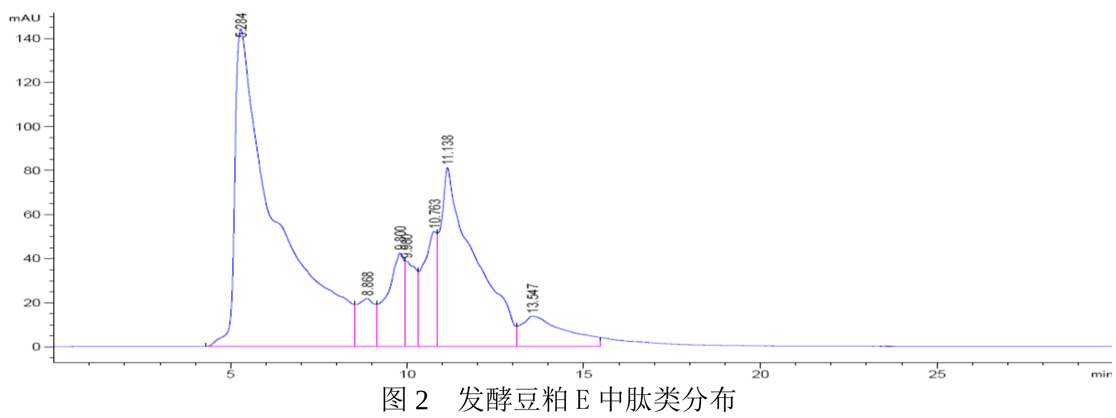


图 2　发酵豆粕 E 中肽类分布

Fig.2　Distribution of peptide in fermented soybean meal E

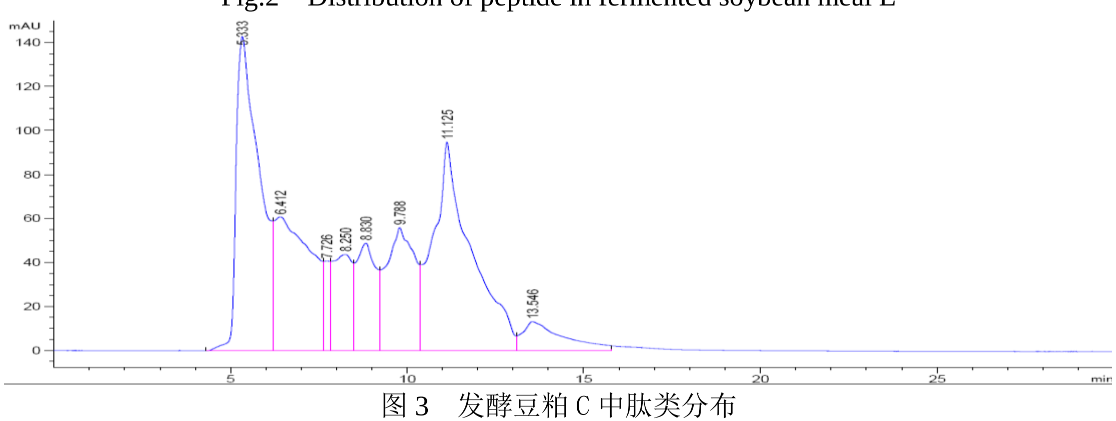


图 3　发酵豆粕 C 中肽类分布

Fig.3　Distribution of peptide in fermented soybean meal C

表 3　豆粕样品中蛋白质的分布

Table 3　Distribution of soybean meal protein

名称 Name	项目 Items	数值 Values							
去皮豆粕 Dehulled soybean meal	t/min	5.242	9.238	9.628	10.034	10.175	11.144	13.56	
	W/u	38 823.081	372.486	236.679	147.615	125.292	40.605	2.446	
	S/%	79.536	0.531	0.979	0.581	0.651	14.577	3.146	
发酵豆粕 E Fermented soybean meal C	t/min	5.284	8.868	9.8	9.98	10.763	11.138	13.547	
	W/u	36 972.601	572.743	193.776	157.181	63.239	40.889	2.484	
	S/%	51.104	3.176	6.526	3.571	6.169	24.12	5.333	
发酵豆粕 C Fermented soybean meal C	t/min	5.331	6.404	7.734	8.245	8.826	9.782	11.118	13.533
	W/u	35 006.202	10 052.637	2 141.066	1 181.884	601.409	197.875	41.851	2.524
	S/%	24.266	17.026	1.863	6.527	7.241	12.04	27.411	3.626

t：保留时间 retention time；W：分子量 molecular weight；S：峰面积 peak area。

1.2　试验设计

原料：从上述 GFC 技术分析结果中选出大分子蛋白质含量由高至低的去皮豆粕、发酵豆粕 E、发酵豆粕 C 3 种产品。

试验动物：40 头 28 日龄断奶、均重 10 kg 的三元（杜洛克×长白×大白）杂交仔猪。

主要仪器和试剂：DM4000 B LED Leica 显微镜；磷酸盐缓冲液。

40 头仔猪随机分为 4 处理，每处理 3 个重复，每重复 3 头猪（其中一个重复为 4 头猪）。以去皮豆粕处理为负对照组，植物性蛋白质原料为去皮豆粕；发酵豆粕 C 处理和发酵豆粕 E 处理为试验组，植物性蛋白质原料分别为发酵豆粕 C 和发酵豆粕 E；动物蛋白处理为正对照组。参照 NRC（1998）仔猪和保育猪营养标准并结合生产实践，以去皮豆粕总蛋白质含量为基准，采用等蛋白质含量替换的方式，配制其他处理饲粮（表 4）。试验为期 5 周，自由采食，按日常生产流程管理。

表4　试验饲粮组成及营养水平

Table 4　Composition and nutrient levels of experimental diets　　%

项目 Items	含量 Content		
	去皮豆粕 Dehulled soybean meal	发酵豆粕 Fermented soybean meal	动物蛋白 Animal protein
原料 Ingredients			
玉米 Corn	30.00	30.00	30.00
膨化玉米 Expanded corn	29.52	29.52	29.52
去皮豆粕 Dehulled soybean meal	18.00		
发酵豆粕 Fermented soybean meal		16.56	
蔗糖 Sucrose	4.00	4.00	4.00
小麦麸 Wheat bran	2.00	2.00	2.00
奶酪乳清粉 Cheese whey	2.00	2.00	2.60
奶粉 Milk powder	2.00	2.00	9.00
血浆蛋白粉 Plasma protein powder	2.00	2.00	8.00
鱼粉/蒸汽烘干 Fish meal/steam drying	3.70	3.70	8.10
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	1.00	1.00	1.00
大豆油 Soybean oil	2.40	2.29	1.99
石粉 Limestone	1.03	0.97	0.64
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	0.27	0.27	
食盐 NaCl	0.40	0.41	0.29
预混料 Premix[1)]	1.68	3.28	2.86
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]			
消化能 Digestible energy/(MJ/kg)	11.95	11.95	11.95
代谢能 Metabolizable energy/(MJ/kg)	11.15	11.59	11.37
粗蛋白质 Crude protein	18.91	18.95	18.92
标准回肠可消化赖氨酸 SID Lys	1.25	1.25	1.25
标准回肠可消化蛋氨酸 SID Met	0.43	0.43	0.43
标准回肠可消化苏氨酸 SID Thr	0.73	0.73	0.81
标准回肠可消化色氨酸 SID Try	0.20	0.20	0.20
钙 Calcium	0.70	0.70	0.70
标准全肠道可消化磷 STTD Phosphorus	0.33	0.33	0.43
盐分 Salt	0.54	0.54	0.54
氯 Chlorine	0.28	0.28	0.21
钠 Sodium	0.21	0.21	0.23
系酸力 Acid-binding capacity/(Eq/kg)	49.83	35.84	33.74

胆碱 Choline/(mg/kg)	925.46	392.57	392.57
抗坏血酸 Ascorbic acid/(mg/kg)	279.00	279.00	279.00

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 12 000 IU，VD 2 400 IU，VE 67.5 mg，VK 1.311 mg，VB_1 1.92 mg，VB_2 9.6 mg，VB_5 21.60 mg，VB_3 29.451 mg，VB_6 2.675 mg，生物素 biotin 0.084 mg，叶酸 folic acid 72.01 mg，VB_{12} 0.036 mg，Cu 63.959 mg，Fe 85.682 mg，Zn 124.886 mg，Se 0.5 mg，I 0.7 mg。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3 检测指标和方法

试验期内，记录仔猪每日采食量、腹泻率（以粪便黏稠呈糊状或水样为腹泻粪便）；试验期末，各处理仔猪分别称重，计算平均日采食量、平均日增重、料重比、腹泻率。计算公式如下：

平均日增重=（试验期末仔猪平均体重-试验初期仔猪平均体重）/试验天数；

平均日采食量=（试验初期总料量-试验期末余料量）/试验天数；

料重比=平均日采食量/平均日增重；

腹泻率（%）=（试验期内仔猪腹泻头数/试验天数）×100。

试验期末，各处理随机选 2 头猪屠宰。分别剪取十二指肠、空肠、回肠 5 cm，磷酸盐缓冲液冲洗肠腔，再剪取中间 1~2 cm 置于 10%浓度甲醛溶液中固定。制作石蜡切片，图像分析软件分析、测定绒毛高度、隐窝深度，计算 V/C。

1.4 数据分析

试验数据经 Excel 2007 初步整理后，应用 SPSS 18.0 软件进行单因素方差分析，差异显著者用 LSD 氏法进行多重比较，以 P<0.05 作为差异显著性判断标准，数据分析结果以“平均值±标准差”表示。

2 结 果

2.1 试验处理对仔猪生长性能的影响

由表 5 可知，试验处理对仔猪平均日采食量、平均日增重和腹泻率有影响，对料重比无显著影响（P>0.05）。与去皮豆粕处理相比，发酵豆粕 E、发酵豆粕 C 处理仔猪平均日采食量和平均日增重显著提高（P<0.05），腹泻率显著下降（P<0.05）。

表5 试验处理对仔猪生长性能的影响

Table 5 Impacts of experimental treatments on growth performance of piglets

处理 Treatments	初重 IBW/kg	末重 FBW/kg	平均日采食量 ADFI/g	平均日增重 ADG/g	料重比 F/G	腹泻率 Diarrhea rate/%
去皮豆粕 Dehulled soybean meal	10.00±0.03	25.65±0.07[d]	711.33±4.62[d]	447.33±2.08[d]	1.59±0.00	14.84±0.50[a]

发酵豆粕E Fermented soybean meal E	10.00±0.03	26.45±0.11[c]	747.00±5.20[c]	471.00±1.00[c]	1.59±0.01	11.98±0.50[b]
发酵豆粕C Fermented soybean meal C	9.99±0.03	26.78±0.20[b]	759.00±2.65[b]	479.33±5.51[b]	1.58±0.02	11.11±0.55[b]
动物蛋白 Animal protein	9.99±0.04	27.09±0.08[a]	768.33±6.03[a]	488.67±3.21[a]	1.57±0.01	7.14±0.48[c]

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），相同或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

2.2 试验处理对仔猪小肠绒毛高度的影响

由表 6 可知，试验处理对仔猪回肠绒毛高度无显著影响（*P*>0.05）。与去皮豆粕处理相比，发酵豆粕 C 处理仔猪十二指肠绒毛高度显著提高（*P*<0.05），发酵豆粕 E 处理则无显著差异（*P*>0.05）。与动物蛋白处理相比，发酵豆粕 E 处理仔猪十二指肠绒毛高度显著降低（*P*<0.05），发酵豆粕 C 处理无显著差异（*P*>0.05）。

表6 试验处理对仔猪小肠绒毛高度的影响

Table 6 Impacts of experimental treatments on intestinal villus height of piglets μm

处理 Treatments	小肠部位 The intestinal segment		
	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum
去皮豆粕 Dehulled soybean meal	528.64±22.10[b]	557.30±20.42[b]	543.67±31.64
发酵豆粕E Fermented soybean meal E	545.65±47.65[b]	568.63±45.83[ab]	546.54±33.77
发酵豆粕C Fermented soybean meal C	586.57±57.24[a]	585.19±34.08[ab]	548.54±43.97
动物蛋白 Animal protein	614.92±36.34[a]	597.88±37.84[a]	572.56±40.90

2.3 试验处理对仔猪小肠隐窝深度的影响

由表 7 可知，去皮豆粕处理仔猪小肠隐窝深度最大，发酵豆粕 E、发酵豆粕 C 处理次之，动物蛋白处理最小。与去皮豆粕处理相比，发酵豆粕 E、发酵豆粕 C 处理仔猪十二指肠、空肠隐窝深度显著下降（*P*<0.05），回肠隐窝深度无显著差异（*P*>0.05）。与动物蛋白处理相比，发酵豆粕 E、发酵豆粕 C 处理仔猪十二指肠隐窝深度显著增加（*P*<0.05）。

表7 试验处理对仔猪小肠隐窝深度的影响

Table 7 Impacts of experimental treatments on small intestinal crypt depth of piglets μm

处理	小肠部位 The intestinal segment

Treatments	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum
去皮豆粕 Dehulled soybean meal	344.49±38.78[a]	332.31±36.79[a]	305.19±104.64[a]
发酵豆粕E Fermented soybean meal E	296.50±22.09[b]	272.40±29.67[b]	252.23±32.21[ab]
发酵豆粕C Fermented soybean meal C	288.06±24.73[b]	263.76±25.11[b]	248.25±35.86[ab]
动物蛋白 Animal protein	232.86±30.38[c]	248.62±23.07[b]	227.96±37.56[b]

2.4　试验处理对仔猪小肠V/C的影响

由表 8 可知，与去皮豆粕处理相比，发酵豆粕 E、发酵豆粕 C 处理仔猪十二指肠和空肠的 V/C 均显著升高（P<0.05），动物蛋白处理仔猪十二指肠、空肠、回肠的 V/C 均显著升高（P<0.05）。

表8　试验处理对小肠V/C的影响

Table 8　Impacts of experimental treatments on small intestinal villus height and crypt depth ratio of piglets

处理 Treatments	小肠部位 The intestinal segment		
	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum
去皮豆粕 Dehulled soybean meal	1.56±0.19[c]	1.70±0.23[c]	1.90±0.41[c]
发酵豆粕E Fermented soybean meal E	1.85±0.19[b]	2.12±0.36[b]	2.20±0.28[bc]
发酵豆粕C Fermented soybean meal C	2.06±0.35[b]	2.24±0.26[ab]	2.25±0.33[b]
动物蛋白 Animal protein	2.69±0.46[a]	2.42±0.24[a]	2.55±0.31[a]

3　讨　论

3.1　试验处理对仔猪生长性能的影响

发酵豆粕对仔猪生长性能的影响主要原因包括：一是发酵豆粕中抗营养因子含量减少，抗营养作用减弱，对动物生理机能的危害程度减轻；二是发酵豆粕中小分子蛋白质、肽类和氨基酸等活性物质含量增多，有利于动物机体消化吸收，促进动物生长发育。本试验中，发

酵豆粕 C 处理仔猪平均日采食量和平均日增重分别提高 5.06%、5.29%，腹泻率下降 19.27%以上，说明发酵豆粕处理有利于改善仔猪的生长性能。

3.2　GFC 技术分析豆粕中的蛋白质含量

GFC 技术是分析蛋白质含量的技术之一，主要是以色谱柱中多孔的凝胶颗粒为介质，以蛋白质样品中分子大小为依据进行洗脱分离。其中，大分子先被洗脱出来，中等的其次，最后洗脱的是小分子物质。被洗脱分离出来的蛋白质经紫外检测器依次检测后，形成色谱峰。经系统积分后，得出各分子量物质含量的百分比。本试验中，去皮豆粕、发酵豆粕 E 和发酵豆粕 C 中大分子蛋白质（平均分子量分别约 38、37、35 ku）含量分别占 79.54%、51.10%、24.27%，肽含量（平均分子量范围分别为 372~125 u、572~157 u、601~198 u）分别为 2.74%、13.27%、19.28%。2 种发酵豆粕中大分子蛋白含量均低于去皮豆粕，且肽含量都高于去皮豆粕。

3.3 试验处理对仔猪小肠绒毛结构的影响

小肠结构和功能的完整性是养分得以有效吸收的前提，绒毛高度、隐窝深度以及二者的比值是衡量小肠机能状态的重要指标。小肠绒毛高度是养分吸收能力的表现，绒毛高度下降说明吸收功能降低[4]；隐窝深度小说明肠道细胞生长状态良好；V/C 是小肠机能状态及其消化酶活力的综合体现[5]。幼龄动物的肠道尚未发育健全，饲料中部分大分子蛋白质能以完整形式进入血液和淋巴组织[6]：刺激机体产生免疫球蛋白 A（IgA）和免疫球蛋白 E（IgE），并与抗原结合形成抗原-抗体复合物，引起免疫反应，导致免疫损伤[7]，使绒毛高度下降，酶分泌量减少；还能激活免疫效应细胞，巨噬细胞通过分泌细胞因子或直接进攻靶细胞引起肠道组织损伤[8]，造成绒毛萎缩和隐窝深度增加。

植物性蛋白质原料的缺点之一是抗营养因子含量多，如胰蛋白酶抑制因子、植酸、抗原蛋白等，其中以大豆抗原蛋白对幼龄动物肠道损伤程度最重。发酵豆粕能有效改善小肠绒毛结构，且改善效果与发酵豆粕的添加量呈正相关[9]。研究表明，饲喂发酵豆粕的仔猪，其肠绒毛高度可提高 2.24%以上，隐窝深度下降 13.27%以上[10]。本试验中，与去皮豆粕处理相比，动物蛋白处理小肠绒毛高度提高，隐窝深度下降，V/C 增大，说明动物蛋白处理对仔猪小肠绒毛结构有促进作用。而发酵豆粕 C 处理十二指肠绒毛增高 10.96%，隐窝深度下降 16.38%，空肠隐窝深度下降 20.63%，十二指肠、空肠、回肠 V/C 分别增高 32.05%、31.76%、18.42%；发酵豆粕 E 处理十二指肠、空肠隐窝深度分别下降 13.93%、18.03%，十二指肠、空肠 V/C 分别增高 18.59%、24.71%。可见，发酵豆粕能够提高绒毛高度，降低隐窝深，增加 V/C，有效改善仔猪小肠绒毛结构。

4　结　论

豆粕中大分子蛋白质含量与小肠 V/C 呈负相关。与去皮豆粕相比，发酵豆粕中大分子

蛋白质含量低，肽含量高，能够有效提高小肠绒毛高度，降低隐窝深度，增加 V/C，有效改善仔猪小肠绒毛结构。同时，对仔猪的生长性能具有促进作用。

参考文献:

[1] FRIAS J,SONG Y S,MARTÍNEZ-VILLALUENGA C,et al.Immunoreactivity and amino acid content of fermented soybean products[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2008,56(1):99–105.

[2] LI D F,NELSSEN J L,REDDY P G,et al.Transient hypersensitivity to soybean meal in the early-weaned pig[J].Journal of Animal Science,1990,68(6):1790–1799.

[3] GILBERT E R,WONG E A,WEBB K E,Jr.BOARD-INVITED REVIEW:peptide absorption and utilization:implications for animal nutrition and health[J].Journal of Animal Science,2008,86(9):2135–2155.

[4] EID Y Z,OHTSUKA A,HAYASHI K.Tea polyphenols reduce glucocorticoid-induced growth inhibition and oxidative stress in broiler chickens[J].British Poultry Science,2003,44(1):127–132.

[5] PLUSKE J R,HAMPSON D J,WILLIAMS I H.Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig:a review[J].Livestock Production Science,1997,51(1/2/3):215–236.

[6] 詹黎明.饲粮蛋白来源对早期断奶仔猪生产性能和免疫功能的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2010.

[7] 王继强,龙强,李爱琴,等.发酵豆粕的营养特点及在断奶仔猪饲料上的应用[J].当代畜牧,2011(6):25–27.

[8] LI D F,NELSSEN J L,REDDY P G,et al.Interrelationship between hypersensitivity to soybean proteins and growth performance in early-weaned pigs[J].Journal of Animal Science,1991,69(10):4062–4069.

[9] 章世元,徐建超,张杰,等.新型发酵豆粕对断奶仔猪生长性能及胃肠道发育的影响[J].畜牧与兽医,2009,41(7):20–23.

[10] 陈文静.新型发酵豆粕在乳仔猪饲粮中应用效果研究[D].硕士学位论文.扬州:扬州大学,2004.

Effects of Content of Macromolecular Protein and Peptide in Fermented Soybean on Intestinal Villi Structure of Piglets

ZHANG Lulu　WANG Xinzhi*

(*Animal Husbandry and Veterinary College, Shenyang Agricultural University, Shenyang*, 110866 *China*)

Abstract: The purpose of this test was to study the effects of content of macromolecular protein and peptide in fermented soybean meal on the intestinal villi structure of piglets, and analysed the content of macromolecular protein and peptide by gel filtration. Forty weaned piglets were randomly allotted into 4 treatments: dehulled soybean meal treatment, fermented soybean C

treatment, fermented soybean E treatment and animal protein treatment, respectively. The experiment lasted for 5 weeks. The results showed as follows: the macromolecular protein content in dehulled soybean meal was about 80%, which in fermented soybean meal was about 50%, even down to 24%; the peptide content in fermented soybean meal was about 19%, which in dehulled soybean meal was 2.7%. Compared with the dehulled soybean meal treatment, the villus height in duodenum of fermented soybean C treatment was significantly increased （P<0.05）, the crypt depth in duodenum and jejunum of fermented soybean E treatment and fermented soybean C treatment was significantly decreased （P<0.05）, the villus height and crypt depth ratio in duodenum and jejunum of fermented soybean E treatment and fermented soybean C treatment was significantly increased（P<0.05）. In conclusion, macromolecular protein content in soybean meal is negatively correlated with small intestinal villus height and crypt depth ratio; fermented soybean meal can be used in weaning piglets diets, and effectively improve the structure of small intestinal villus of weaning piglets.

Key words: fermented soybean; GFC; intestinal villus structure

*Corresponding author, associate professor, E-mail: xinzwang@163.com

（责任编辑 武海龙）